

# 新质生产力视角下多代理行为模拟赋能城市设计全路径分析\*

## Multi-Agent Behavior Simulation Empowering Full-Path Urban Design Analysis from the Perspective of New Quality Productive Forces

杨春侠 詹鸣 YANG Chunxia, ZHAN Ming

**摘要** 依赖静态蓝图与经验判断的传统城市设计难以应对城市发展的动态变化与多元需求,亟需引入以技术驱动、数据支撑与高效协同为特征的新质生产力。多代理行为模拟通过刻画个体与环境的动态交互,构建涵盖基础数据采集、交互机制获取、仿真模型建构、动态模拟输出和设计优化决策5个环节的方案优化框架。该方法促进了城市设计产学研的应用协同:在科研层面,呈现“空间—行为”动态耦合关系并拓展应用场景;在实践层面,通过“行为模拟—问题诊断—优化预判—反馈验证”的闭环流程提高方案决策效率;在教学层面,构建“经验+实践+仿真+验证”的循证式教学新路径。其通过智能仿真辅助动态规划、综合诊断提升智慧管控、精准预判支持科学决策,推动城市设计由经验驱动向数据驱动、由静态蓝图向动态仿真转型,为城市空间的精细化与数智化治理提供重要方法支撑。

**Abstract** Traditional urban design, relying on static blueprints and experiential judgment, faces challenges in addressing the dynamic transformations and diverse demands of contemporary urban development. This necessitates the introduction of new quality productive forces, characterized by technology-driven approaches, data support, and efficient collaboration, to enable scientific decision-making and digitally intelligent governance. Multi-agent behavior simulation (MABS) captures the dynamic interactions between individuals and their environments and establishes a five-stage optimization framework, comprising data acquisition, interaction mechanism extraction, simulation modeling, dynamic simulation output, and design optimization. This method promotes the integration of research, practice, and education in urban design. At the research level, it reveals the dynamic coupling between space and behavior while expanding application scenarios; at the practical level, it enhances decision-making efficiency through a closed-loop process of “simulation–diagnosis–prediction–verification”; and at the educational level, it establishes an evidence-based pedagogical framework integrating “experience + practice + simulation + verification”. Overall, by enabling intelligent simulation, comprehensive diagnosis, and precise prediction, MABS facilitates the transformation of urban design from experience-driven to data-driven approaches and from static blueprints to dynamic simulation, providing essential methodological support for the refined and digitally intelligent governance of urban spaces.

**关键词** 多代理行为模拟;城市设计;新质生产力;数智化治理

**Key words** multi-agent behavior simulation; urban design; new quality productive forces; digital-intelligent governance

文章编号 1673-8985 (2026) 02-0008-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20260202

### 作者简介

杨春侠

同济大学建筑与城市规划学院

副教授,博士

詹鸣(通信作者)

同济大学建筑与城市规划学院

博士研究生, zhanming@tongji.edu.cn

### 0 引言

当前我国城市建设已由外延式土地扩张转向依托科技创新、产业升级、治理增效及存量资源运营的内涵式发展阶段。伴随发展模式的转变,城市工作更加注重以人为本、集约高效与协同治理,对城市空间的精细化建设和高质量运营提出了更高要求<sup>[1]</sup>。这一发展“质变”

过程中,亟需引入“新质生产力”手段,通过技术创新渗透至城市全空间、覆盖全人群,实现对存量空间资源的精准激活与高效配置。

“新质生产力”概念由习近平总书记于2023年首次提出,是数字技术革命背景下生产力发展的新形态,以数据要素化、人工智能融合等为关键特征,具有创新驱动、绿色低碳、

\*基金项目:国家社会科学基金后期资助重点项目“城市滨水全民健身新载体数智构建路径研究”(编号24FGLA001)资助。

开放融合与人本内蕴等内在特性<sup>[2]</sup>。在城市设计领域,这一概念为存量更新背景下重塑空间配置方式与设计决策逻辑提供了重要理论指引。多代理行为模拟(Multi-Agent Behavior Simulation, MABS)作为能够动态刻画个体行为与空间环境交互过程的前沿技术,通过模拟不同主体在复杂空间系统中的行为响应与互动机制,揭示空间运行规律、高效预演空间优化方案,正逐渐成为助力城市存量更新与精细化决策的重要新质生产力工具。

## 1 多代理行为模拟的新质生产力特质

### 1.1 多代理行为模拟的技术要点

多代理行为模拟是一种通过构建多个具有自身属性并具有自主决策能力的“代理”(agent),模拟其在特定环境中感知、决策与相互作用过程,从而再现群体行为与系统演化规律的计算建模方法。其应用范围涵盖社会学与自然科学,包含地理、交通、物流、能源、通信、建筑等诸多领域<sup>[3-7]</sup>。作为一种面向复杂系统的研究工具,多代理行为模拟强调从个体层面出发,以微观视角自下而上地模拟空间使用情境。

多代理技术具有内部数据表达(通过记忆或状态)、自我修正(通过学习或认知),以及修改环境(通过行为)的能力,尤其适用于对人类个体行为模式及其互动关系的模拟<sup>[8]</sup>。具体来说,它具有下列主要特征:个体自治,代理可以被赋予不同的运动变量和判断条件,从而成为具有“个性”的智能粒子来模拟个体行为;群体耦合,代理粒子间能够相互作用,促进或削减整体系统,呈现出耦合效应<sup>[9]</sup>;环境互动,代理粒子与仿真环境之间也能互动,遵循特定的逻辑发展并形成相对稳态<sup>[10]</sup>;动态衍化,由于环境要素时常变化,多代理系统始终处于“稳态—动态—稳态”的变化过程中<sup>[11]</sup>。这4类特征使得多代理技术能够实现对微观行为的仿真模拟。

基于“智能化特点、分布式特征、自下而上的模拟方式”<sup>[12]</sup>,多代理行为模拟有助于细致刻画不同个体行为与多样环境要素之间的

复杂相互作用关系,实现对“空间—行为”系统的动态仿真。通过设定代理行为规则及其与环境的交互逻辑,可直观呈现城市空间中自组织行为活动的情境,辅助分析空间与行为的影响机制。

### 1.2 多代理行为模拟的新质生产力技术呈现

在城市设计研究与实践中,多代理行为模拟能够有效应对复杂的城市空间情境,特别是城市户外公共空间这类非线性、信息模糊、个体互动频繁且随时间动态变化的环境。与传统城市设计以空间形态为核心、依赖经验判断和静态空间分析的方式不同,基于多代理行为模拟的城市设计强调以人本行为视角为出发点,通过自下而上的方式刻画空间使用过程中的行为互动与系统演化机制。通过引入个体行为规则与环境交互机制,该方法将城市设计从以空间形态为主导的规划逻辑,拓展为以“空间—行为”互动为核心的动态分析框架。在设计流程上,城市设计由“分析—设计—评估”的线性模式,转变为“数据—模拟—诊断—优化—验证”的数据驱动迭代过程,使设计方案能够在实施之前进行动态模拟与多轮优化修正。在模型建构层面,多代理行为模拟在二维或三维空间形态建模的基础上进一步嵌入个体行为规则与“空间—行为”互动逻辑,从而能够通过模拟直观呈现复杂城市系统中多元空间环境要素共同作用下的人群行为过程,以及由此涌现的群体分布特征、流动结构与空间使用模式。在成果表达与决策方式上,城市设计也由传统的静态空间蓝图与经验性方案比

选,转向依托多场景动态模拟与行为预测支持的量化、数智循证决策。通过多情境仿真分析,设计方案能够在实施前进行应对未来使用状况的多方案预演评估与风险预判,提升设计方案的灵活性与前瞻性。多代理行为模拟为城市设计提供了一种以“空间—行为”互动机制为基础的动态分析与决策支持工具,使设计过程由经验依赖逐步转向数据支撑,由结果导向转向过程优化,体现技术驱动、高效决策与高质量提升的新质生产力特质(见表1)。

## 2 多代理行为模拟支撑城市设计方案核心环节优化

多代理行为模拟辅助城市设计通常包括基础数据采集、交互机制获取、仿真模型建构、动态模拟输出和设计优化决策5个部分(见图1),以支撑设计方案核心环节优化。

### 2.1 基础数据采集

用于行为模拟的基础数据通常包括城市空间环境数据和人群个体行为数据两类,用于在模拟平台中构建真实可信的仿真城市环境与行为主体。不同城市设计尺度下两类数据的采集重点、技术手段各不相同。在宏观尺度城市空间研究中,多代理行为模拟主要用于理解城市空间结构对人群活动分布与整体使用模式的影响。空间环境数据常基于遥感、多元大数据等<sup>[13]</sup>采集城市空间形态要素数据(如城市开放空间体系、主干道与慢行网络、公共空间与绿地系统等),构建城市或片区层面的空间结构仿真环境。人群个体行为数据多依赖出行调查、手

表1 多代理行为模拟新质生产力的技术呈现

维度	传统城市设计	多代理行为模拟辅助的城市设计	新质生产力的技术呈现
底层逻辑	自上而下:以空间形态为核心	自下而上:基于个体行为视角	人本行为视角
设计流程	线性流程:分析→设计→评估	闭环迭代:数据→模拟→诊断→优化→验证	数据驱动迭代
模型建构	形态塑造:二维或三维空间塑造	互动关系:形态基础上的空间—行为互动逻辑	“空间—行为”耦合
成果输出	终极图景:静态空间蓝图	时空演化:动态可视化多情境方案	多场景动态模拟
决策方式	主观权衡:依据经验的方案比选	证据引导:数据与模拟结果支持的循证决策	数智循证决策
方案评估	事后评价:实施后使用评价	事前预测:实施前模拟与多方案预演	前瞻性预演评估

资料来源:笔者整理。

机信令和GPS等<sup>[14]</sup>聚合数据,支持对城市人群动态分布的模拟与分析。在特定区域或具体公共空间研究中,多代理行为模拟强调对个体行为决策与环境感知的精细刻画,往往通过城市设计图纸和实地场地测绘采集场地空间形态、建筑布局和座椅、铺装、绿化、健身设施等具体空间要素。人群个体行为数据则通过现场行为注记、视频追踪、问卷调查等<sup>[15][204, [16], [17]80]</sup>方法获取,用于后续构建个体在场所中的实时路径选择、行为反应与驻留偏好。

## 2.2 交互机制获取

交互机制是刻画空间环境代理与行人个体代理之间的动态交互规则,为行为模拟模型提供可量化的运行逻辑。宏观尺度研究的交互机制主要体现为个体代理在环境约束下的迁移行为与人群出行规律。例如,人口迁移与居住或绿地选择通过居住吸引力系数和迁入、迁出概率等参数进行量化,并通过概率决策函数或人工神经网络等预测个体代理的区域选择行为,用于城市扩张模拟和人口分布迁移预测<sup>[18-20]</sup>。中微观尺度研究中,交互机制关注区域空间组织、设施使用与个体的实时行为决策。路径选择与空间偏好常通过吸引力权重、可达性评分等量化选择概率,或是通过效用函数或离散选择模型实现代理的路径与位置选择,用于社区公共空间、城市公园、滨水空间等特定空间使用模式模拟<sup>[15][205, [17]80, [21-22]</sup>。

## 2.3 仿真模型建构

仿真模型建构是多代理行为模拟辅助城

市设计的核心流程。首先需要选择合适的微观模型和仿真模拟平台。常用的微观模型包括格子气模型、元胞自动机模型、移动效益模型、社会力模型及智能体模型等,均被广泛应用于行人行为研究。总体而言,社会力模型能够较好地刻画行人移动的动力学过程,适用于模拟公共空间中的群体流动与避让行为;智能体模型则能够通过赋予个体环境感知与决策能力,更好地表达个体差异与复杂行为策略。在城市空间这一复杂系统下,单一模型往往难以完整表达系统运行机制,因此多模型组合建模已成为提升模拟精度和可解释性的有效方法。仿真平台选择方面,常用平台包括AnyLogic、VisWalk、UAF、NOMAD、SimWalk等,它们均支持大量代理的动态交互、空间网络分析及多情景模拟。其中,AnyLogic是较早实现多方法仿真模拟建模的软件平台,它支持基于智能体、离散事件和系统动力学3种建模方法的任意组合,能够满足城市设计中多尺度、多行为和情景的仿真需求,目前应用广泛。

仿真平台确定后,模型建构包括仿真环境建模、行人个体代理建模、“空间—行为”交互机制嵌入和运行拟合验证等环节。仿真环境建模基于选定的模拟平台导入空间底图构建仿真环境,并对城市空间单元、街区设施、建筑节点等空间要素“吸引点”进行属性定义,如功能类型、容量约束、吸引力、服务范围等,为个体代理提供环境感知基础。行人个体代理建模则根据采集的基础数据为代理赋予性别、年龄等基础属性,视野范围、视觉深度、注视时间等视觉属性以及移动速度、感知半径、活动时间等动态

属性<sup>[15][205-206]</sup>,使个体代理粒子在模拟过程中能够体现异质性和行为多样性。“空间—行为”交互机制通过将个体代理与环境代理之间的互动规则嵌入模型,使个体与环境实时动态交互,并做出路径选择、停留或避障等行为,完成初步模型构建。运行拟合验证是模型建构的重要环节,即将初步模型输出结果与实测结果进行对比,对不相符的地方进行拟合调试。多数拟合分析基于对模拟与实测结果的行人分布状况、流量、轨迹或步态等图示的直观对比。在定性拟合主导研究的基础上,也有一些研究对模拟与实测数据开展了相关性分析等量化拟合分析,并对空间局部和特定要素进行量化拟合,一定程度上提高了拟合结果的准确性。经过多轮调校优化之后获得仿真程度较高的多代理模型。

## 2.4 动态模拟输出

运行拟合调校后获得的行为模拟模型,一方面,个体代理的移动路径、停留位置、活动参与及互动过程可被实时直观呈现,形成轨迹图、密度分布图、热力图等可视化成果。这类可视化结果能够清晰地反映人群流动方向、空间使用强度、活动热点区域及潜在的拥挤风险等,使设计者能够从整体和局部两个层面直观理解空间形态、设施布局与人群行为之间的关系,突破仅依赖静态平面分析的局限。另一方面,基于行为模拟模型还可以支持输出多维度诊断指标。模型可在连续时间序列中,按不同空间单元和时间切片动态根据研究重点不同设置输出各类指标<sup>[23]</sup>,如人群流量、停留时间分布、空间使用强度、设施利用率、通行效率、拥挤程度等。这些指标既可用于对同一空间在不同时段的使用变化进行对比,也可用于不同空间方案或情景条件之间的横向评估,从而高效支撑多方案、多情景的量化设计比较与决策分析。

## 2.5 设计优化决策

设计优化决策是多代理行为模拟在城市设计中的应用环节,其本质在于通过行为模拟实现空间问题的精准诊断、方案预演比选与迭代优化。基于行为模拟结果,设计者可在不同

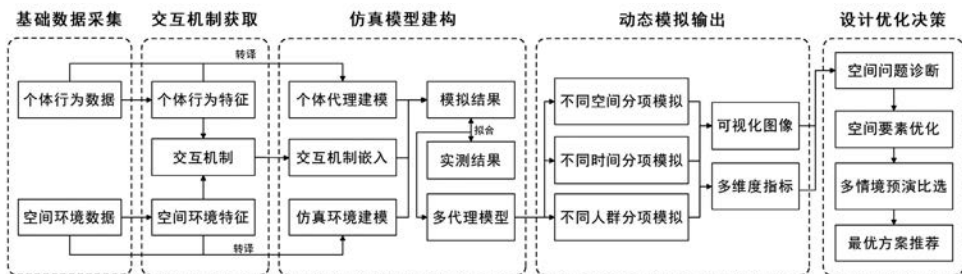


图1 多代理行为模拟辅助城市设计的主要环节  
Fig.1 Key links of multi-agent behavior simulation aiding urban design

资料来源:笔者自绘。

时间尺度和空间单元上识别人群流线冲突、局部拥挤、空间利用不足、设施配置失衡等关键问题,形成以行为机制为依据的空间诊断。在明确了空间问题的基础上,针对空间形态、功能布局、设施配置、管理策略等,构建多种设计情景与要素调整方案,并进行多轮模拟预演,对比分析各方案在不同前置条件下人群行为响应、空间使用效率等指标上的差异,从而实现方案的科学比选与优化预判,显著降低设计试错成本,提高方案决策的科学性与效率。

### 3 多代理行为模拟驱动城市设计产学研应用协同

#### 3.1 科研应用:呈现“空间—行为”动态耦合关系并拓展多元应用场景

多代理行为模拟的核心在于以个体真实行为与空间体验为出发点,推动城市设计方法由传统“空间主导”的自上而下静态范式,转向基于行为机制的自下而上“空间—行为”动态耦合范式。相较于以形态控制和功能分区为核心、主要依赖静态蓝图与设计经验判断的传统模式,行为先导的仿真模拟方法强调对个体差异、行为决策与环境感知过程的刻画,通过真实行为数据与仿真模型驱动设计推演,实现以人为本的动态规划与设计决策,契合新质生产力人本内蕴特性。在空间层面,多代理行为模拟突破了以往研究主要聚焦建筑室内空间或交通节

点的局限,将研究对象拓展至街区、公园、广场、滨水空间等城市户外公共空间<sup>[24-27]</sup>,关注不同人群在空间可达性、舒适性、使用公平性等方面的差异化需求。在行为层面,研究从以交通疏散和通行效率为主的功能性行为分析,拓展至休闲、社交、运动等<sup>[28-30]</sup>体现日常生活体验与福祉的休憩行为类型,更全面地反映城市公共空间的实际使用状态与潜在问题。进一步地,相关研究由单一行为模拟向多要素、多系统的耦合模拟演进,将个体行为与微气候<sup>[31-32]</sup>、照明<sup>[33]</sup>环境等环境要素进行二元或三元协同建模,系统地揭示环境条件变化对行为选择、空间偏好与使用强度的影响机制。这种“行为—空间—环境”协同建模路径,使城市设计在满足基本功能需求的同时,精准地回应微气候与夜间环境条件对空间可用性、舒适性等的调节作用,更加关注人的感受与体验,为公共空间品质提升和精细化设计提供可验证的人本决策支持。

#### 3.2 实践应用:实现“行为模拟—问题诊断—优化预判—反馈验证”的闭环设计决策

多代理行为模拟在城市设计实践中构建起了一套完整可推广的“问题诊断—优化预判—反馈验证”闭环工作流程。如在上海北外滩滨水公共空间更新改造案例中<sup>[17]79-84</sup>,在AnyLogic平台上构建基于滨水场地实际行为

数据的多代理行为模拟模型,对不同空间、不同时间和不同人群共28种分项情境进行模拟和动态推演,精确识别出线性空间拥堵、面状空间利用率低、设施布局不均等具体问题。在此基础上,将问题要素归类为基面组织、岸线形式、公共建筑、配套设施4大类型,依次对每个类别存在问题的单个空间要素进行多种方案调整并进行针对性改进模拟(见图2)。基面组织通过调整基面尺度(见图3)、增设垂直岸线路径、增设缓坡改善竖向连接以提升通行舒适度;岸线形式通过开放滨水区域、塑造多样化岸线增强亲水性;公共建筑通过底层功能置换、完善建筑服务功能激发空间活力;配套设施通过优化布局、加强管理提升使用品质。

综合考虑场地周边发展潜力后,将改进效果显著的要素选项:线性空间基面尺度、面状空间基面尺度、岸线形式,以及高、中、低3个等级人流量组合形成180个优化方案,运用正交实验设计从中精炼出11种关键组合,相应地建立优化模型。通过模拟预演对比显示:低人流量场景适宜“5 m滨水漫步道+凸岸线+小型广场”组合;中等人流量可选择“15 m漫步道+直岸线+小型广场”或“5 m漫步道+直岸线+大型广场”;高人流量场景则以“15 m漫步道+凹岸线+小型广场”表现最优。同时根据码头开放程度、入口设置条件等现实约束,提供不同前置条件下的差异化方案排序(见

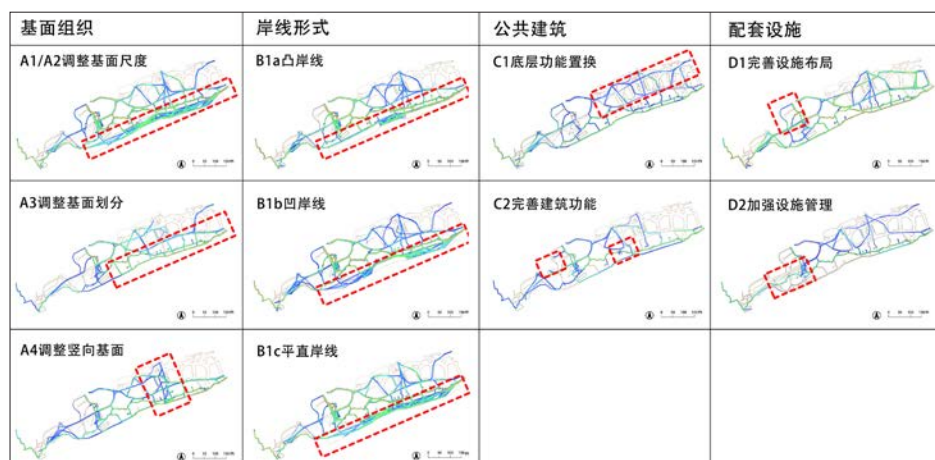


图2 不同要素改进模拟结果示例  
Fig.2 Example of different element optimization simulation

资料来源:笔者自绘。

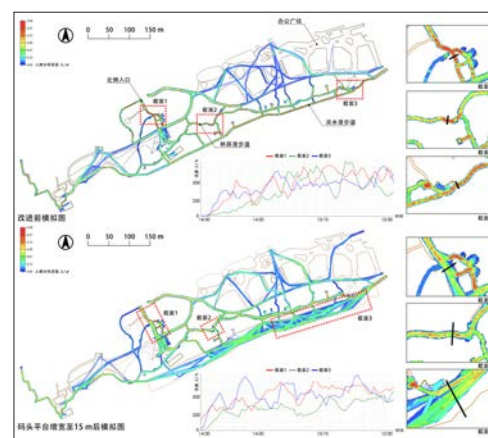


图3 调整基面尺度改进前后模拟结果对比示例  
Fig.3 Comparison of simulation results before and after base plane scale modification

资料来源:笔者自绘。

图4)。北外滩项目在改造完成后,将实际使用数据与模拟预测结果进行对比分析,出入口人流量的模拟与实测相关性系数达0.775,吸引点访问量相关性系数达0.804,且统计显著性均低于0.01,验证了基于多代理行为模拟的方案预测具有较高准确性。

北外滩更新实践表明,多代理行为模拟通过建立精细问题诊断、动态优化预判、实证验证反馈的完整实践方法体系,使设计方案由一次性成果输出转向全过程动态优化调整,高效输出多场景方案,降低设计试错成本,也增强了方案对不同前置条件与未来变化的适应能力,灵活高效地为城市公共空间的精细化更新与数智化治理提供了可复制、可推广的方法范式,体现了其作为新质生产力在城市设计实践领域的应用价值。

### 3.3 教学应用:构建“经验+实践+仿真+验证”的循证式城市设计教学新路径

在城市设计教育领域,传统教学模式以案例解析、经验传授与方案表达为主,学生对城市空间与人类行为之间复杂关系的理解多停留在定性认知层面,缺乏对行为机制的系统分析与科学验证手段。将多代理行为模拟引入城市设计教学,通过融合数据驱动与仿真验证方法,推动城市设计教育从“经验导向”向“循证导向”转型。例如,以徐汇滨江公共空间<sup>[34]</sup>为对象的多代理行为模拟课程实践,探索构建了一条“经验+实践+仿真+验证”相融合的循证式城市设计教学路径。

在教学初期,课程以学生既有的空间认知与设计经验为起点,引导其通过实地踏勘、空间分析与案例对照,对空间功能结构、主题特征与场地要素进行总结梳理。在此基础上,进一步通过现场观察、问卷调查与行为路径追踪等方法,获取真实的使用者行为数据,将使用者分为直接目的型、休闲无目的型和多目的复合型3类(见图5)。在仿真建模阶段,课程引入多代理行为模拟方法,将实地调研所得的空间要素、功能主题与使用者类型转译为模型参数与交互规则。学生通过设定不同类型代理个体的行为偏

好、移动规则与环境响应机制,针对这三类使用者分别建立仿真模型(见图6),动态模拟各类使用者在不同主题空间中的路径选择与活动分布过程;从而直观地理解空间设计如何通过环境要素配置影响个体行为,并产生群体层面的涌现效应;同时基于模拟结果进行问题诊断,发现不同功能主题区域间缺乏活力和氛围的连续性、公共服务设施配置不足和场地入口较为分散,场地内没有明确的空间指引等问题。

针对现状问题,提出相应空间要素的优

化策略,新增公共设施与空间吸引点。在此基础上对场地进行方案优化模拟,并对分析优化前后的模拟结果,以验证空间优化策略的可行性及其可能达到的改进效果(见图7)。模拟结果表明,实行相应的策略后,徐汇滨江研究区段的公共空间设计与使用状况可以得到一定程度的优化提升:3类使用群体代理粒子的路径在整体空间内的分布更加均匀合理,部分地段的拥挤情况得到一定程度的改善;空间吸引点的分布也相对更加均匀友好,区域内消

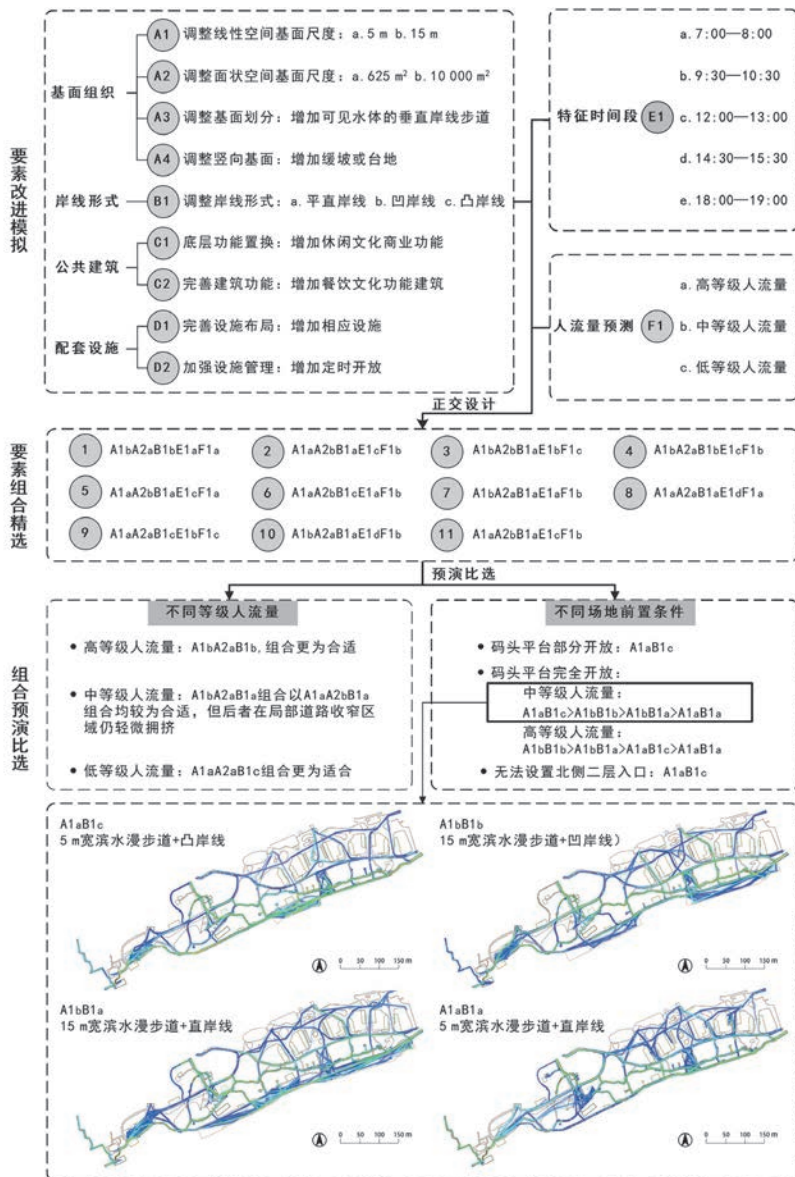


图4 优化预判流程  
Fig.4 Process of optimization preview

资料来源:笔者自绘。

极空间得到有效消解;不同目的和性质的使用人群之间的行为活动更加相融,增加了使用者之间的互动;场地相邻区域之间的联系得到增强,整体滨水公共空间的使用度更加连贯。通过行为模拟,学生能够观察到设计干预对人流分布、空间活力与行为互动模式的影响,实现对设计效果的可视化预判与量化验证,有效避免了单纯依赖主观判断进行方案优劣比较的问题,使设计更有据可循。

多代理行为模拟辅助的循证式教学路径提升了学生在复杂城市空间情境下的系统思维、数据分析与设计反思能力。通过将真实行为数据与动态仿真引入教学过程,学生能够更加理性地理解“空间—行为”之间的因果机制,避免形式化设计与功能错配,并逐步建立起以数据支撑设计假设、以仿真验证方案效果的科学设计逻辑,为其参与真实城市更新项目与公共空间实践奠定方法基础。基于多代理行为模拟的城市设计教学模式将传统单一理论教学或“理论+实践”的教学模式提升为“经验+实践+仿真+验证”的智能复合教学模式,从而促成城市设计行为仿真实验教学平台的设立,为培养适应精细化、数智化城市设计需求的复合型创新人才提供了重要支撑。

## 4 多代理行为模拟助力城市设计智慧治理升级

### 4.1 智能仿真辅助动态规划

城市设计面对的城市空间是一个复杂系统,始终处于“稳态—动态—稳态”的持续变化过程中。空间要素与使用者行为之间相互调整并适应,二者始终保持互动,并且要素和行为一直作为一个整体而运行,表现为动态的自组织过程。多代理行为模拟系统基于行为导向,通过个体自洽、群体耦合、环境互动、迭代等手段,能够把城市的复杂性、开放性、多样性和动态性等特征可视、量化地表达出来,提供模型运行机制,构建行为模拟模型。模型动态模拟过程中会连续不断地输出粒子分布图像和单个诊断指标瞬时计算结果,每一帧运行信息都能够被瞬时捕捉,每一组人群信息都可以被单独提

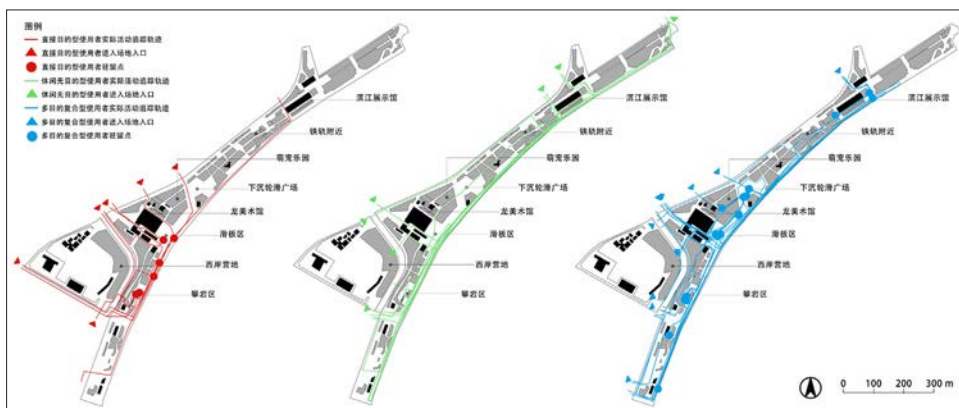


图5 直接目的型、休闲无目的型和多目的复合型使用人群追踪路径  
Fig.5 Tracking paths of users with direct purpose, leisurely non-purpose, and multi-purpose types

资料来源:笔者自绘。

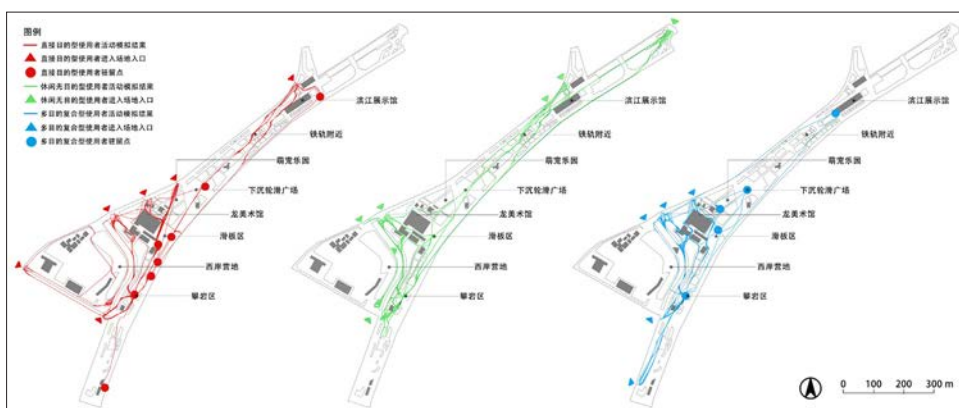


图6 针对直接目的型、休闲无目的型和多目的复合型使用人群的行为模拟  
Fig.6 Behavior simulation for direct purpose, leisurely non-purpose, and multi-purpose user groups

资料来源:笔者自绘。

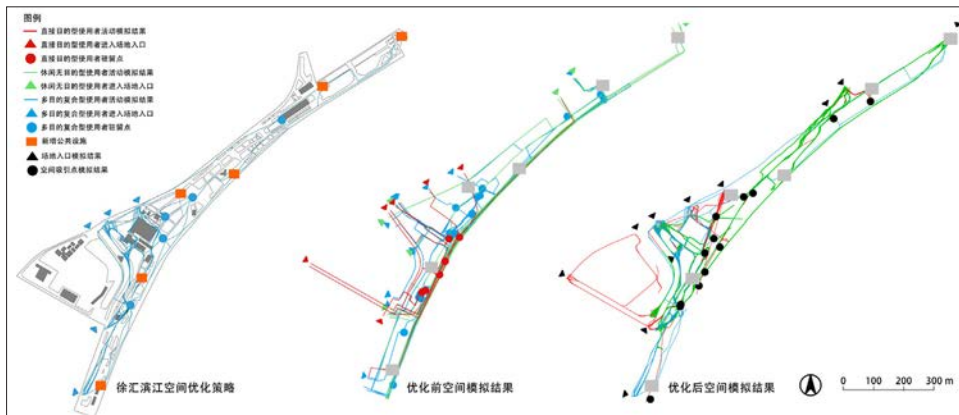


图7 徐汇滨江空间优化策略与优化前后模拟结果比较

Fig.7 Comparison of spatial optimization strategies and simulation results before and after optimization for Xuhui Waterfront

资料来源:笔者自绘。

取,动态迭代的模拟过程也可以被全面呈现,就可以从不同时间、不同人群、不同空间、不同活动等方面来分项解读空间使用状况,有助于使

城市规划设计从传统静态的单一结果输出变成全周期、动态的模拟和优化过程。在北外滩更新案例<sup>[17][8]</sup>中:时间维度方面,通过对单帧运行信

息的筛选,可以诊断出特定时段林荫跑道微拥堵的状态;人群维度方面,通过对老年人群信息的提取,可以诊断出诸如滨水漫步道与林荫跑道之间高差处理方式不利于老年人进行基面转换的问题;空间维度方面,通过对全天模拟过程的综合分析,可以诊断出诸如大尺度办公广场区域利用率不高等问题。针对上述问题,分别提出拓宽林荫跑道、增加缓坡高差衔接方式、置换办公底层功能等改进方案。通过几轮的信息筛选、问题诊断、改进优化,规划方案也在动态演进中不断完善,最后呈现的成果将是满足更多人群、符合多数时段需求的精细设计。

#### 4.2 综合诊断提升智慧管控

多代理行为模拟能够输出相关城市空间的品质诊断指标,可以辅助指导项目评审、综合管理、应急指挥等一系列流程,将数据技术和经验评价高度融合,提升城市空间建设和管理水平。以城市滨水公共空间为例<sup>[23][104, [35]</sup>,在项目审批和方案比选中,关键指标如步行绕路系数、驻留率、吸引点利用率和视线达水率等,可作为参考阈值,提高审批和评估的效率与精度。同时,模拟结果能够在不同维度上对方案进行分层比选,避免传统依赖经验或主观判断所带来的偏差。在运行管理层面,通过人流密度、驻留面密度和岸线线密度等关键指标的极值模拟,可建立分层预警机制,为管理部门提供科学的拥挤监测和应急指引。例如,当模拟结果显示某时段人流密度超出红色预警阈值时,可及时采取分流或功能调整措施,防止踩踏等安全事故的发生。通过这种综合诊断,城市滨水公共空间的管理不仅更加科学,也能够实现智能化、可预见的运行控制。

#### 4.3 精准预判支持科学决策

城市治理经历了从数字化到信息化再到智慧化的发展阶段,逐步推动从问题式治理向预防式治理的转变。依托“互联网+”、云计算、大数据、人工智能等新兴技术,有可能实现城市治理问题的综合整治和有效预判,在掌握信息的基础上提升分析与预测能力<sup>[36]</sup>。多代理行为模

拟弥补了大数据在微观层面和未来数据获取上的不足,通过掌握空间要素与个体行为之间稳定的交互机制,实现了高度拟真的微观预演。不仅能预测未来新方案的实施效果,还能精准识别现状空间中不易被察觉的潜在问题,为精细化与数智化治理提供量化依据。同时,多代理行为模拟技术改变了传统规划“单一最优方案”的模式,支持生成“多向度方案”工具箱,通过对空间类型、诊断指标和活动类型进行多场景预演,规划设计能够随着时间推移和场地条件的改变进行动态调整,使设计方案具备灵活性与弹性,能够适应未来不同时间、不同前置条件的发展变化。此外,多代理模拟促成了“自上而下”政府宏观把控与“自下而上”个体需求偏好的结合。一方面,通过“人机融合”将设计师的专业智慧与计算机算法算力整合;另一方面,动态可视化平台打破了专业壁垒,让公众、开发商等非专业群体能直观理解规划设计过程并提出建议,共同参与讨论和优化方案。最终,多代理行为模拟实现了从动态规划、智慧管控到科学决策的闭环支持,使城市设计与决策更具前瞻性、适应性和以人为本的特征。

### 5 结论与展望

作为融合数据要素与智能算法的新质生产力工具,多代理行为模拟从微观个体行为出发,通过自下而上的动态仿真与系统涌现机制,实现了对“空间—行为”关系的深度刻画,突破了传统城市设计依赖经验判断和静态蓝图的分析范式,推动设计方法由“经验驱动”向“数据驱动”、由“静态蓝图”向“动态仿真”转型。从更长远角度看,多代理行为模拟可与“量子城市”<sup>[37]</sup>等强调高度智能性、动态适应性和系统协同性的城市理论相结合,通过强算力的多情景并行模拟,应对复杂城市系统中多主体、多尺度、多目标并存的非线性演进,从而能够更具前瞻性地应对未来的不确定性,使设计方案具备更强的弹性、适应性与演化能力。未来,随着人工智能、多源数据及计算机算力的持续提升,多代理行为模拟有望与实时数据流、机器学习及复杂系统理论深度融合,进一步增强仿真精

度,并向普适化、可视化的辅助决策平台演进,成为量子城市空间治理的重要底座工具,深度服务于城市更新与综合治理全流程。

#### 参考文献 References

- [1] 新华社. 中共中央 国务院关于推动城市高质量发展的意见[N]. 人民日报, 2025-08-29 (001). Xinhua News Agency. Opinions on promoting high-quality urban development by CPC Central Committee and State Council[N]. People's Daily, 2025-08-29(001).
- [2] 王松, 徐政, 江小鹏. 数字时代的新质生产力: “十五五”时期数据要素化与产业范式重构战略研究——学习贯彻党的二十届四中全会精神[J/OL]. 重庆大学学报(社会科学版), 2026, 32(1): 29-40. WANG Song, XU Zheng, JIANG Xiaopeng. New quality productivity in the digital age: strategic research on data factorization and industrial paradigm reconstruction during the 15th Five-Year Plan period: studying and implementing the spirit of the Fourth Plenary Session of the 20th Central Committee of the Communist Party of China[J/OL]. Journal of Chongqing University (Social Sciences Edition), 2026, 32(1): 29-40.
- [3] SEYED M G, JAMSHID M, THEO A. A multi-agent assisted approach for spatial group decision support systems: a case study of disaster management practice[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2019(38): 1-13.
- [4] JOSEPH K, REZA V, JAKOB P, et al. Exploring the impact of user preferences on shared autonomous vehicle modal split: a multi-agent simulation approach[J]. Transportation Research Procedia, 2019(37): 115-122.
- [5] FIRDAUSIYAH N, TANIGUCHI E, QURESHI A G. Modeling city logistics using adaptive dynamic programming based multi-agent simulation[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2019(125): 74-96.
- [6] SHULGA R N, PUTILOVA I V. Multi-agent direct current systems using renewable energy sources and hydrogen fuel cells[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2019(4): 288-290.
- [7] TENG F, ZHANG H G, LUO C M, et al. Delay tolerant containment control for second-order multi-agent systems based on communication topology design[J]. Neurocomputing, 2020(380): 11-19.
- [8] BONABEAU E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems[C]// Proceedings of National Academies and Sciences, 2002(99): 7280-7287.
- [9] DIJKSTRA J, TIMMERMANS H. Towards a multi-agent model for visualizing simulated user behavior to support the assessment of design

- performance[J]. *Automation in Construction*, 2002(2): 135-145.
- [10] 綦伟琦. 城市设计与自组织的契合[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- QI Weiqi. The alignment of urban design and self-organization[D]. Shanghai: Tongji University, 2006.
- [11] NEIL L. The limits of urban simulation: an interview with Manuel Delanda[J]. *Architectural Design*, 2010(4): 50-55.
- [12] 季民河, MICHAEL M, MIGUEL A. 基于多代理模型的城市土地利用博弈模拟[J]. *地理研究*, 2009 (1): 85-96.
- JI Minhe, MICHAEL M, MIGUEL A. Multi-agent based modeling of land-use decision making process in a democratic setting[J]. *Geographical Research*, 2009(1): 85-96.
- [13] 孔慧子, 刘天明, 廖家婕, 等. 多智能体模型空间分析导向下的城市公园空间结构生成[J]. *风景园林*, 2025, 32 (3): 73-81.
- KONG Huizi, LIU Tianming, LIAO Jiajie, et al. Generation of spatial structure of urban parks based on spatial analysis of agent-based models[J]. *Landscape Architecture*, 2025, 32(3): 73-81.
- [14] WU H, LIU L, YU Y, et al. An agent-based model simulation of human mobility based on mobile phone data: how commuting relates to congestion[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(7): 313.
- [15] YANG C X, ZHAN M. Construction of recreation behavior simulation model of public space in urban waterfront—taking Huangpu River in Shanghai as an example[C]//The International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023: 201-210.
- [16] CHIOU Y S, BAYER A Y. Microscopic modeling of pedestrian movement in a Shida night market street segment: using vision and destination attractiveness[J]. *Sustainability*, 2021, 13(14): 8015.
- [17] 杨春侠, 徐思璐, 耿慧志, 等. 基于多代理行为模拟的上海市北外滩滨水公共空间诊断和优化[J]. *风景园林*, 2022, 29 (12): 78-84.
- YANG Chunxia, XU Silu, GENG Huizhi, et al. Diagnosis and optimization of waterfront public space in North Bund, Shanghai based on multi-agent behavior simulation[J]. *Landscape Architecture*, 2022, 29(12): 78-84.
- [18] KLABUNDE A, WILLEKENS F. Decision-making in agent-based models of migration: state of the art and challenges[J]. *European Journal of Population*, 2016, 32(1): 73-97.
- [19] LI F, LI Z, CHEN H, et al. An agent-based learning-embedded model (ABM-learning) for urban land use planning: a case study of residential land growth simulation in Shenzhen, China[J]. *Land Use Policy*, 2020, 95: 104620.
- [20] LIANG X, LU T, YISHAKE G. How to promote residents' use of green space: an empirically grounded agent-based modeling approach[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, 67: 127435.
- [21] 孙琳. 基于主体建模方法的住区户外空间休憩活动模拟应用研究——以深圳市典型住区为例[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- SUN Lin. Research on the application of residential outdoor space recreation activity simulation based on agent-based modeling method[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2020.
- [22] 马婕, 成玉宁. 基于集群智能行为模拟与空间句法分析的城市公园优化设计研究[J]. *中国园林*, 2021, 37 (4): 69-74.
- MA Jie, CHENG Yuning. Research on optimization of urban park design based on swarm intelligent simulation and spatial syntax analysis[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2021, 37(4): 69-74.
- [23] 姚梓莹. 基于多代理行为模拟的城市滨水区公共空间品质综合测度指标体系研究——以上海黄浦江为例[D]. 上海: 同济大学, 2022.
- YAO Ziyang. Multi-agent simulation-based urban waterfront public space quality comprehensive measurement indexes—taking the Huangpu waterfront area of Shanghai as an example[D]. Shanghai: Tongji University, 2022.
- [24] CHEN Y, YANG J. Historic neighborhood design based on facility heatmap and pedestrian simulation: case study in China[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2020(2): 1-12.
- [25] 马婕. 基于数字技术的城市公园行为预测与空间设计研究[D]. 南京: 东南大学, 2021.
- MA Jie. Research on behavior prediction and spatial design of urban parks based on digital technology[D]. Nanjing: Southeast University, 2021.
- [26] 连海涛. 基于视觉注意力理论的智能体购物行为模型[J]. *装饰*, 2018 (11): 128-129.
- LIAN Haitao. Intelligent agent shopping behaviour model based on visual attention theory[J]. *Art & Design*, 2018(11): 128-129.
- [27] 顾卓行, 杨春侠, 朱玮. 基于智能体行为模拟的城市公共空间使用诊断研究——以上海市北外滩滨水公共空间为例[J]. *新建筑*, 2025 (3): 154-158.
- GU Zhuoxing, YANG Chunxia, ZHU Wei. Urban public space use diagnosis based on agent behavior simulation: a case study of the North Bund waterfront public space in Shanghai[J]. *New Architecture*, 2025(3): 154-158.
- [28] 陶叶康. 多智能体技术在住区居民户外行为模拟和健康空间设计中的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2023.
- TAO Yekang. Research on the application of multi-agent technology in residential outdoor behavior simulation and healthy space design[D]. Nanjing: Southeast University, 2023.
- [29] 王硕. 基于GIS的景区游人游憩模型及可视化系统[D]. 北京: 北京建筑大学, 2018.
- WANG Shuo. Tourist recreation model and visualization system of scenic spots based on GIS[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2018.
- [30] 杨春侠, 闵若遥. 行为模拟下滨水健身空间品质测度与优化预判[J]. *风景园林*, 2025, 32 (4): 106-115.
- YANG Chunxia, MIN Ruoyao. Quality measurement and optimization prediction of urban waterfront fitness space based on behavior simulation[J]. *Landscape Architecture*, 2025, 32(4): 106-115.
- [31] YANG C X, LIU M X, FAN Z X. Modelling and visualization behavior simulation in public open spaces based on MLP and SFM[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2025, 140: 103076.
- [32] LIU M X, YANG C X, FAN Z X. Prediction, simulation and evaluation of stay behavior in public space integrated with microclimate[C]//Proceedings of the 29th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). Hong Kong: CAADRIA, 2024, 2: 129-138.
- [33] YANG C X, LYU C Z, YAO Z Z, et al. Study on the differences of day and night behavior in urban waterfront public space based on multi-agent behavior simulation[C]//Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). Hong Kong: CAADRIA, 2021, 2: 559-568.
- [34] 鞠梦恬. 基于多代理行为仿真的城市设计教学实践[D]. 上海: 同济大学, 2024.
- JU Mengtian. Teaching practice of urban design based on multi-agent behavior simulation[D]. Shanghai: Tongji University, 2024.
- [35] YANG C X, ZHAN M, YAO Z Y. Multi-agent simulation-based urban waterfront public space quality comprehensive measurement indexes[C]//The International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024: 536-548.
- [36] 邬伦, 宋刚, 吴强华, 等. 从数字城管到智慧城管: 平台实现与关键技术[J]. *城市发展研究*, 2017 (6): 99-107.
- WU Lun, SONG Gang, WU Qianghua, et al. From digital city management to smart city management: the basic platform and its key technologies[J]. *Urban Development Studies*, 2017(6): 99-107.
- [37] 张兵, 门晓莹, 叶斌, 等. “落实中央城市工作会议: 新规划实践探索”学术笔谈[J]. *城市规划学刊*, 2025 (5): 1-13.
- ZHANG Bing, MEN Xiaoying, YE Bin, et al. Symposium on “implementing the Central Urban Work Conference: exploration of new planning practices”[J]. *Urban Planning Forum*, 2025(5): 1-13.